

# Présentation réunion de service

## 7 décembre 2015

**M<sup>3</sup>C**  
**ULAVAL**

LABORATOIRE DE MÉCANIQUE  
DES MATÉRIAUX MÉTALIQUES  
ET COMPOSITES DE  
L'UNIVERSITÉ LAVAL

- Deux Professeurs:

Marie-Laure Dano

Augustin Gakwaya

- Deux professionnelles de recherche
- Un postdoctorant
- 7 étudiants au doctorat
- 4 étudiants à la maîtrise

**M<sup>3</sup>C**  
**ULAVAL**

LABORATOIRE DE MÉCANIQUE  
DES MATÉRIAUX MÉTALLIQUES  
ET COMPOSITES DE  
L'UNIVERSITÉ LAVAL

## Axes de recherche

- Comportement thermo-hydromécanique des matériaux composites
- Endommagement, impact et rupture des matériaux composites
- Procédés de fabrication de l'aluminium
- Modélisation numérique

**M3C**  
**ULAVAL**LABORATOIRE DE MÉCANIQUE  
DES MATÉRIAUX MÉTALIQUES  
ET COMPOSITES DE  
L'UNIVERSITÉ LAVAL

## Quelques projets de recherche

- Évaluation et analyse des technologies de réparation des éléments en composites dans les avions en service
- Modélisation de l'impact à haute vitesse des structures d'aéronefs en composites
- Effet des cycles extrêmes de température sur le comportement de matériaux composites

## Équipements: Essais



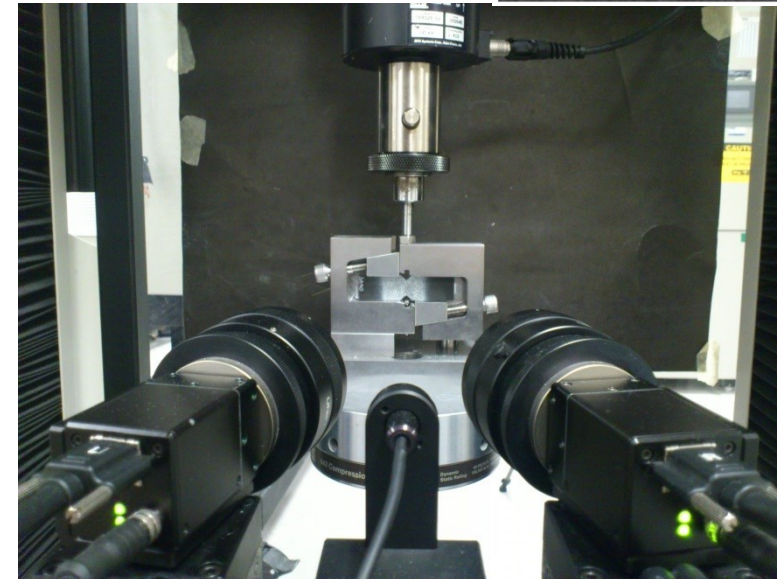
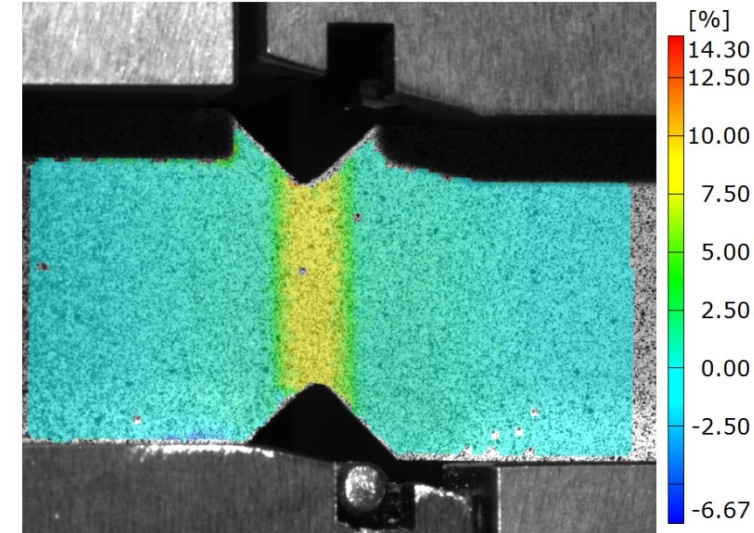
Machine de traction MTS Insigth :

-Cellule de charge de 100 kN et 10 kN



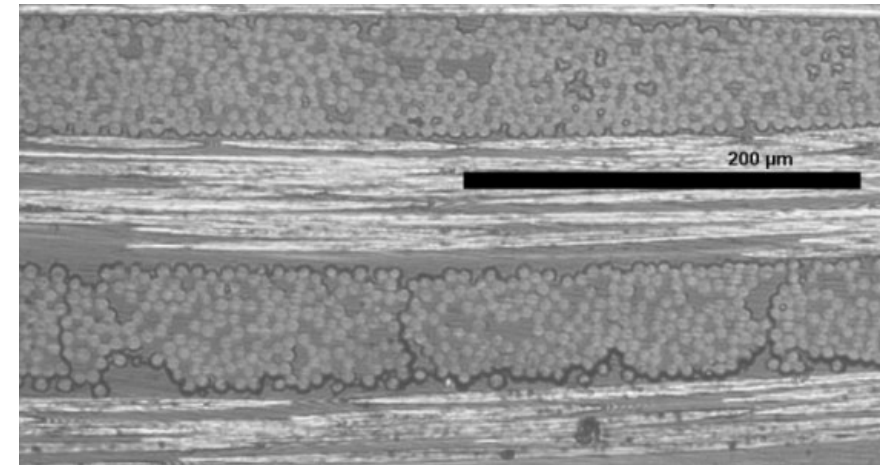
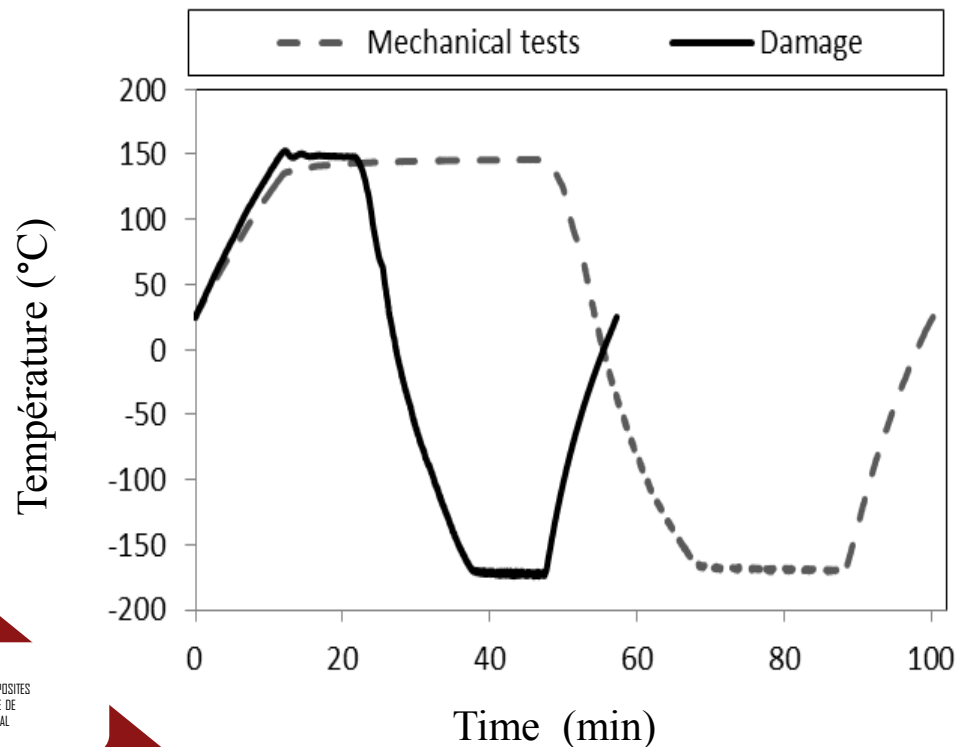


## Équipements: Mesures



Endommagement, impact et rupture:

Effet des cycles extrêmes de température sur l'endommagement et les propriétés de matériaux composites de fibres de carbone et de résine cyanate-ester.



## Projet de thèse

### Environnement Lunaire:

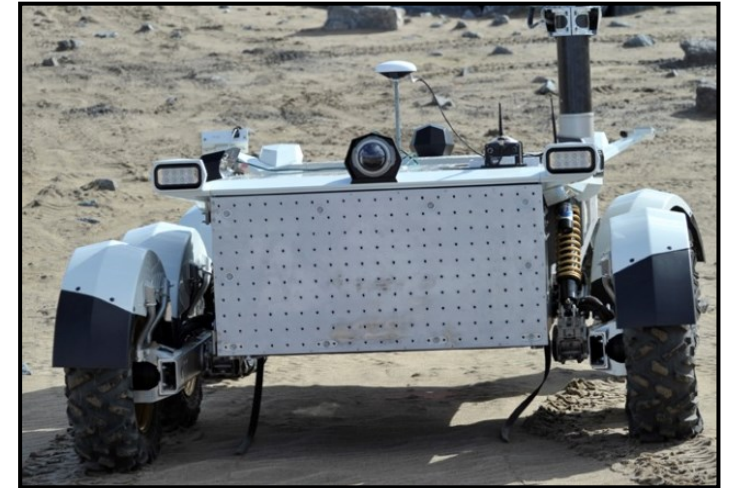
- Variations de température importante
- Relief accidenté
- Visibilité réduite

### Possibles effets sur les Matériaux composites:

- Contraintes internes
- Propriétés des phases affectées
- Chargement d'impact

### Objectif:

Étudier l'effet de la température sur la résistance et la tolérance à l'impact à basse vitesse de panneaux de sandwichs de matériaux composites



<http://www.asc-csa.gc.ca/fra/rovers/lelr.asp>



## Objectifs:

Étudier l'effet de la température sur la résistance et la tolérance à l'impact de panneaux sandwichs

- Déterminer expérimentalement le comportement à l'impact à basse vitesse de panneaux sandwichs à différentes températures.
- Déterminer l'effet de la température d'impact sur la compression après impact.
- Déterminer l'effet de la température sur la compression après impact.
- Déterminer l'effet de la température sur la tenue en fatigue après impact.
- Modéliser et prédire le comportement à l'impact de panneaux sandwichs à différentes températures.

## Projet de thèse

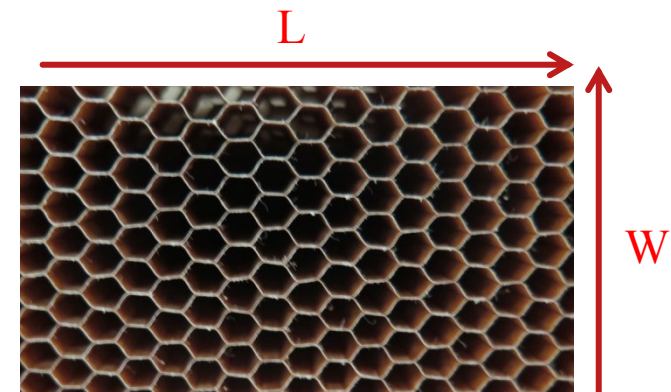
**Matériaux:** [45/0/0/45/âme/45/0/0/45]

Peaux: -Carbone/époxyde  
-Plis tissés de type toile

Âme: -Nomex de  $\frac{1}{2}$  Po (12,7 mm)  
-Cellules hexagonales  
-Densité d'environ 3lbs/ft<sup>3</sup>

**Températures d'essais:**

-150, -50 et 25°C

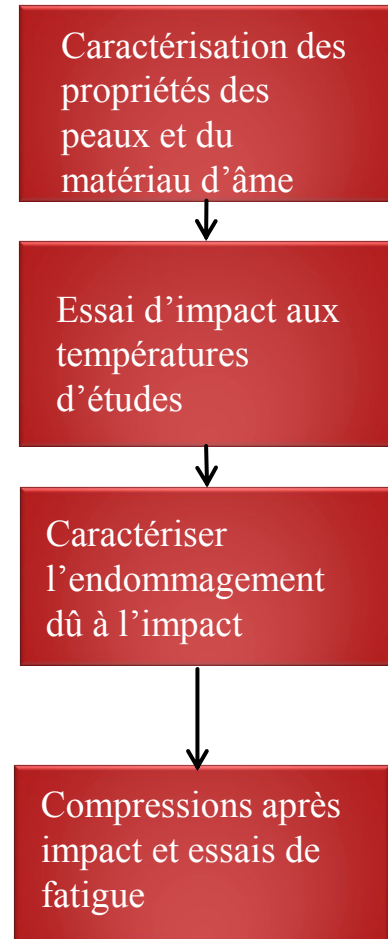


# Panneaux sandwiches

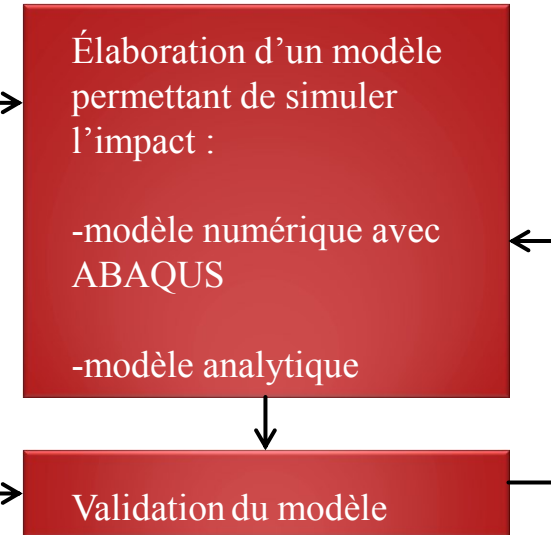
## Projet de thèse

Auteur	Température	Matériaux	Impact	Conclusions
Erickson [2005]	-25°C, 25°C et 75°C	-verre/époxyde tissé -carton rempli de mousse	12 J à 150 J	• $T_{\text{impact}} \downarrow$ force maximale $\uparrow$
Selehi- Kojin [2007]	-50 à 120°C	-Kevlar- carbone/époxyde -Tissé -nid d'abeille rempli de mousse	15J à 45J Basse vitesse	• $T_{\text{impact}} \uparrow$ endommagement $\downarrow$
Yang [2015]	-45.6, 21 et 82.2 °C	-carbone-époxyde -tissé -âme en mousse	Basse vitesse	• $T_{\text{impact}} \uparrow$ endommagement $\uparrow$ • $T_{\text{impact}} \uparrow$ rigidité du matériau d'âme $\downarrow$

## Essais expérimentaux

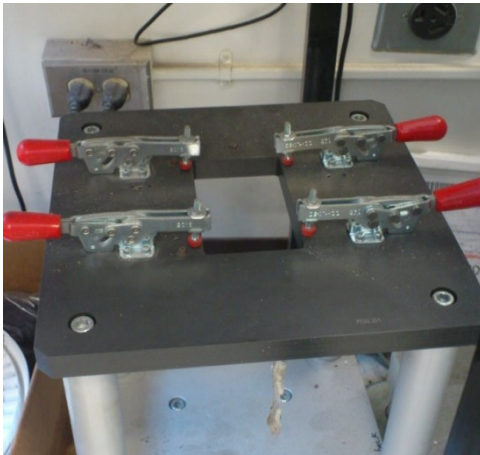


## Modélisation

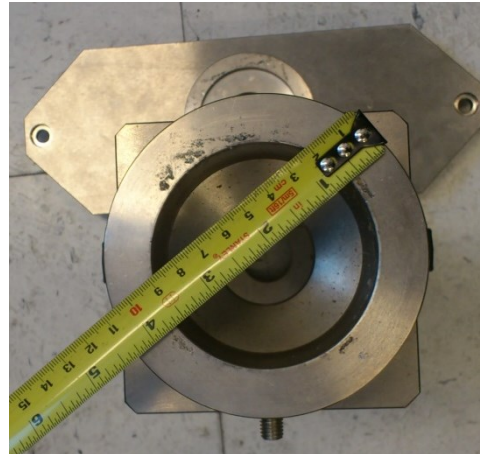


## Montage d'impact

Norme ASTM D7136



Serrage circulaire  
hydraulique



Impact





## Essais préliminaires d'impact

Masse: 20 Kg  
Impacteur de 25 mm  
Vitesse de 1m/s

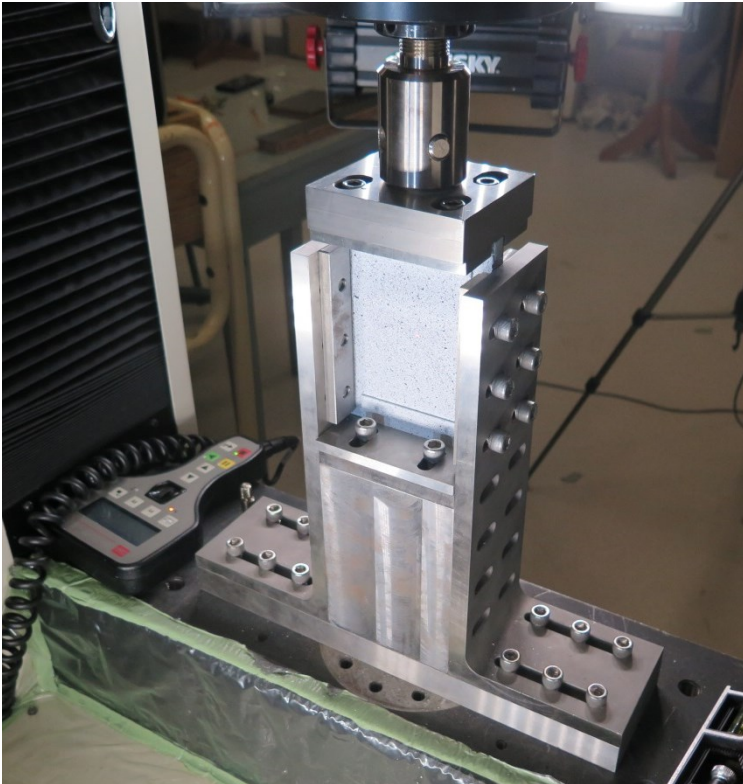


## Impact

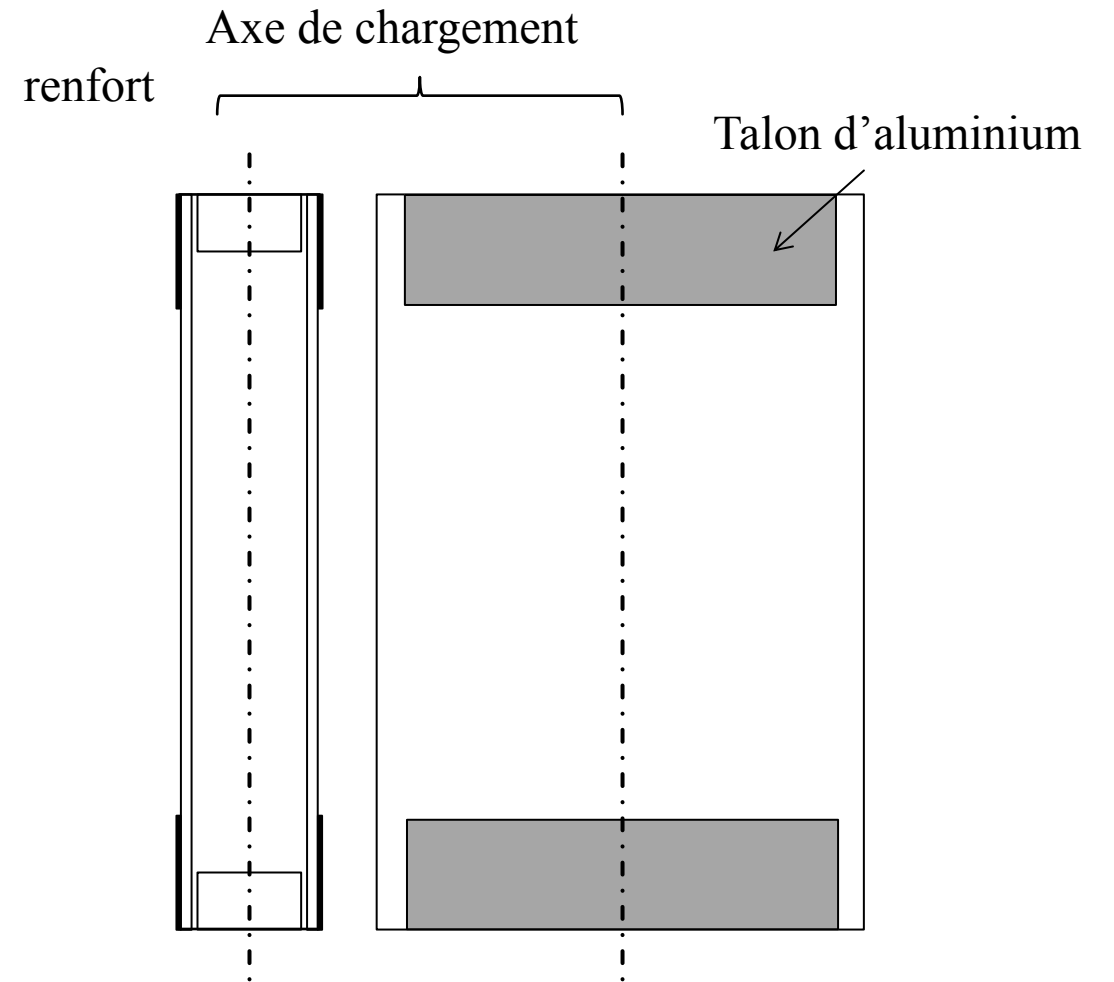
Masse: 20 Kg  
Impacteur de 12,7 mm  
Vitesse de 1 m/s



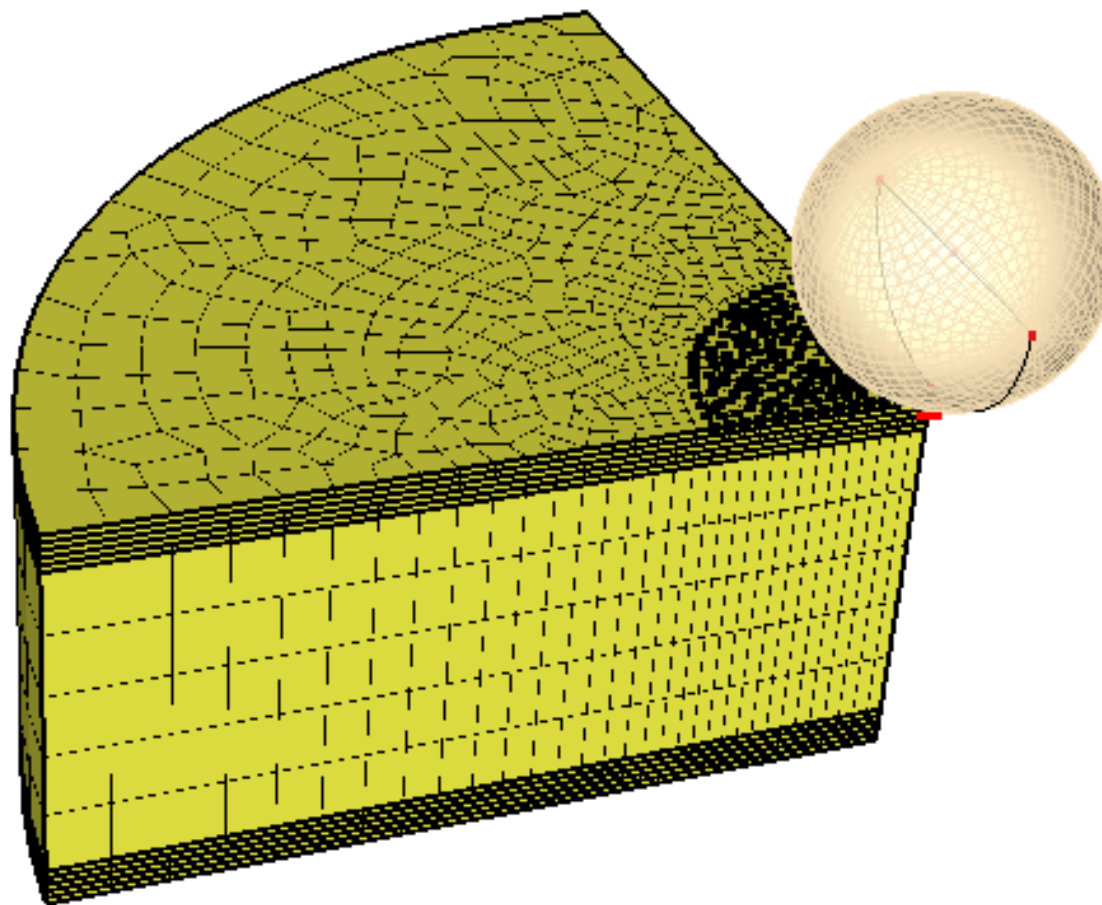
## Compression après impact



Impact



## Modèle dans Metafor



## Modélisation des peaux:

### Propriétés effectives d'un pli

Orthotropes

### Comportement d'un pli

Dans la direction des fibres:

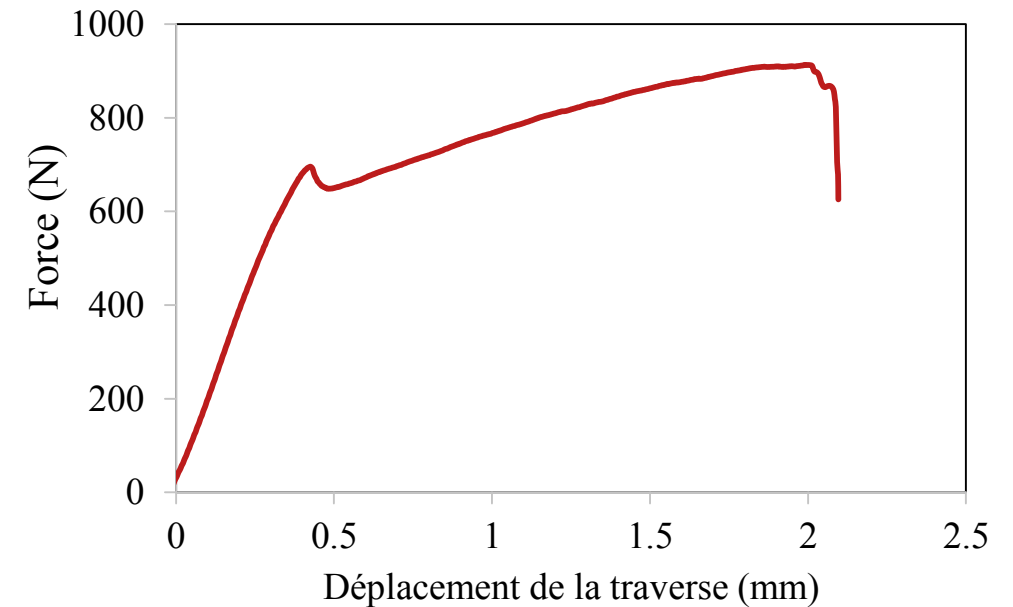
Linéaire élastique

Rupture fragile

Cisaillement: Plasticité et écrouissage

## Modèle dans Metafor

### Essais de cisaillement dans le plan 1-2



Modélisation des peaux:

Endommagement: 2 approches

**Endommagement basé sur la rupture**

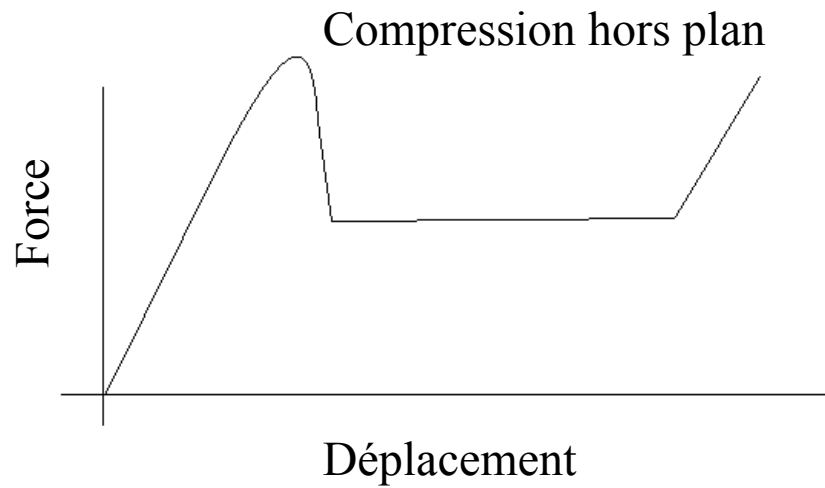
**Variables d'endommagement**

Metafor: Variables d'endommagement

- Endommagement progressif en cisaillement
- Tient compte de l'influence de la traction sur l'endommagement en cisaillement
- Dans la direction des fibres: endommagement brusque lorsqu'on atteint le seuil critique



## Modélisation du matériau d'âme:



Deux approches:

**Milieu Homogène:**

Propriétés effectives

**Structure cellulaire:**

Propriétés du papier Nomex

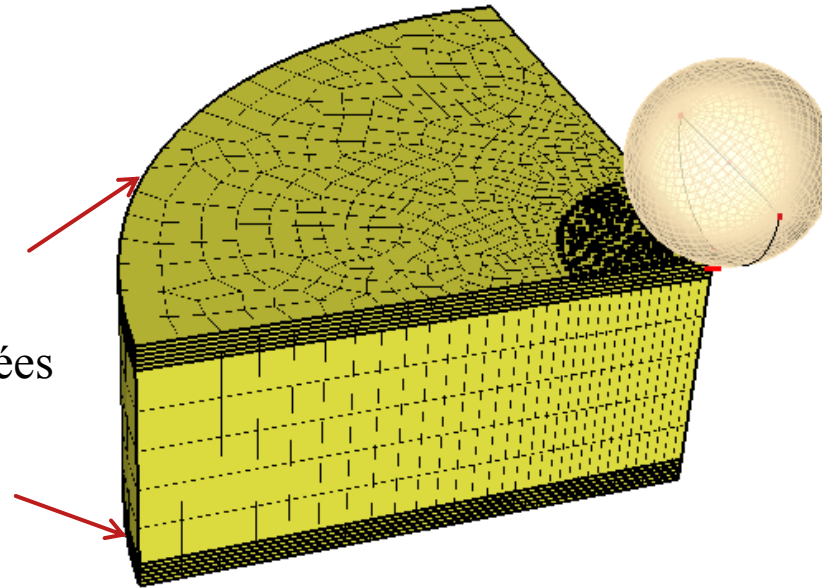
## Modélisation du matériau d'âme: Milieu Homogène

- Utilisation d'un modèle orthotrope élastique avec écrouissage parfaitement plastique
  - +
    - Facilité à mettre en œuvre
    - Permet de tenir compte du plateau
  - - Néglige le pic de force qui précède le flambement des cellules
    - Néglige la consolidation
    - Conservation du volume lors de l'écrouissage

Autres aspects du modèle:

Conditions limites: encastrement du périmètre du pli supérieur et inférieur

Arrêtes encastrees

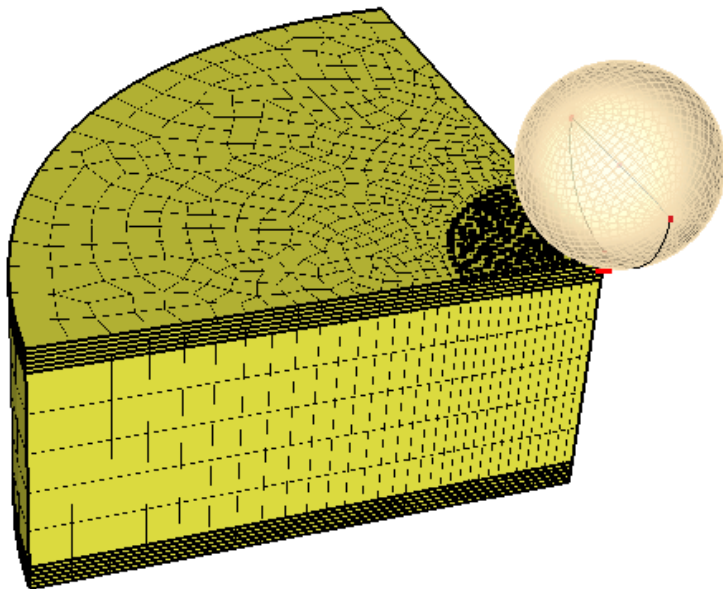


On suppose un joint parfait entre la peau et le matériau d'âme

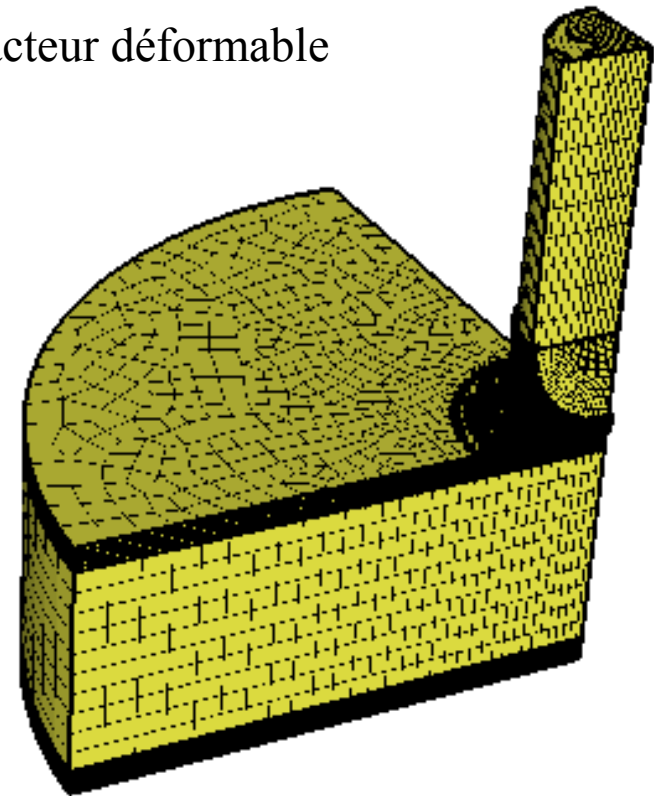
Autres aspects du modèle:

Modélisation de l'impacteur:

Impacteur rigide

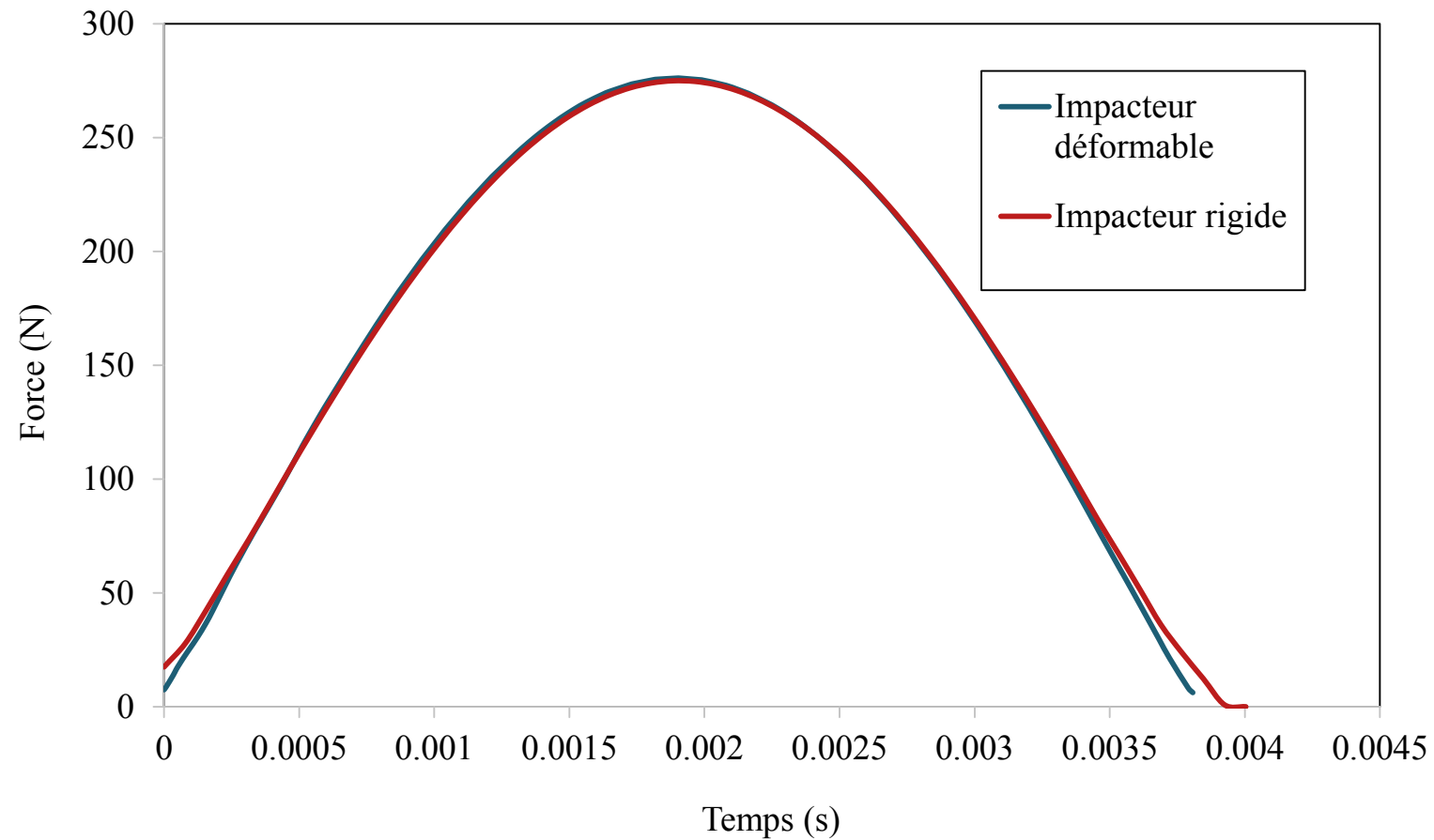


Impacteur déformable



Autres aspects du modèle:

Modélisation de l'impacteur:





## Caractérisation des propriétés des peaux

Essais	Séquences de plis	directions	Propriétés	Nombre d'échantillons
Traction	$[0]_5$	1 et 2	$E_1, E_2, X_{1T}, X_{2T}, \nu_{12}$	30
	$[45/0/0/45]_s$	x	$E_x, E_y$	15
	$[45]_5$	x	$G_{12}, X_{12}$	15
Compression	$[0]_5$	1 et 2	$E_{1c}, E_{2c}, X_{1C}, X_{2C}$	30
	$[45/0/0/45]_s$	x	$E_{xC}, E_{yC}$	15
Traction cyclique	$[45]_5$	x	Paramètres de la loi d'endommagement	15

Température d'essais: -150, -50 et 25 °C

## Matrice d'essai d'impact et de compression après Impact

Température d'impact (°C)	Vitesse d'impact	Impacteur	Température de la CAI (°C)	Nombre d'échantillons impactés	Total
<b>-150</b>	V1	I1, I2	-150	10	35
	V2	I1, I2	-150	10	
	V3	I1, I2	-150	10	
	V3	I1 ou I2	25	5	
<b>-50</b>	V1	I1, I2	-50	10	35
	V2	I1, I2	-50	10	
	V3	I1, I2	-50	10	
	V3	I1 ou I2	25	5	
<b>25</b>	V1	I1, I2	25	10	40
	V2	I1, I2	25	10	
	V3	I1, I2	25	10	
	V3	I1 ou I2	-50	5	
	V3	I1 ou I2	-150	5	

Travaux à venir:

À Liège:

- Études des différents paramètres du modèle
- Comparaison de la loi d'endommagement dans Metafor et Abaqus

À Québec

- Adapter la chambre environnementale de la tour de chute pour des températures de  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Essais de caractérisation
- Modèle préliminaire d'impact dans Abaqus
- Validation de la méthodologie pour les essais de compression après impact